

Modelação da Qualidade da Água da Lagoa das Furnas e da Lagoa Verde das Sete Cidades

Ana RODRIGUES, Dina PACHECO*, Yuriy ROMANETS, Stefan BRUNS, Regina NOGUEIRA, Rui COUTINHO*, António G. BRITO

Universidade do Minho – Centro de Engenharia Biológica, Gualtar, 4710-057 Braga

*Direcção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos - Avenida Antero de Quental, 9500-160 Ponta Delgada

Introdução e Objectivos

A eutrofização das massas hídricas superficiais constitui um dos mais significativos problemas, ainda por resolver, a nível do planeamento e gestão dos recursos hídricos. Este facto deve-se, fundamentalmente, às características difusas da contaminação com origem agrícola e à respectiva envolvente socio-económica, isto quando não é a ausência de tratamento apropriado das águas residuais urbanas. Na Região Autónoma dos Açores, a resolução deste tipo de disfunção ambiental constitui um dos principais objectivos da Administração Regional e, nesse sentido, está em curso um programa de medidas na Lagoa das Furnas e nas Lagoas das Sete Cidades, da ilha de S. Miguel, nos Açores (DROTRH, 2003).

A eutrofização resulta de um incremento da intensidade dos processos de produção biológica das massas de água, provocada por aumentos dos níveis de nutrientes, com especial relevância para o azoto e fósforo. A carga nutritiva que presentemente afluí às massas de água das Lagoas das Furnas e Sete Cidades é proveniente de escorrências superficiais e sub-superficiais, directas e difusas, originadas nos terrenos das respectivas bacias hidrográficas. A Lagoa das Furnas tem uma área de plano de água de 192 ha e tem uma profundidade máxima de 12 metros. A sua bacia hidrográfica ocupa 1244 ha. A Lagoa Verde, com uma área de 88 ha e uma profundidade máxima de 22 m, constitui uma das sub-unidades da Lagoa das Sete Cidades, que possui uma bacia hidrográfica com 1459 ha. As bacias hidrográficas de ambas as lagoas são ocupadas, maioritariamente por pastagens permanentes (ocupando 37% da bacia hidrográfica das Furnas e 31%, no caso das Sete Cidades) e floresta (43% e 57%, para as Furnas e Sete Cidades, respectivamente).

O uso de modelos de qualidade da água, permitindo uma melhor compreensão dos processos biológicos e geoquímicos na massa hídrica, pode contribuir para a definição e avaliação da estratégia de protecção e conservação dos ecossistemas e, neste quadro, a presente comunicação apresenta alguns resultados obtidos com o desenvolvimento de um modelo de qualidade da água das massas hídricas da Lagoa das Furnas e da Lagoa Verde das Sete Cidades.

Material e Métodos

O modelo de qualidade da água da Lagoa das Furnas e da Lagoa Verde das Sete Cidades foi desenvolvido no suporte informático de simulação e análise de dados para sistemas aquáticos AQUASIM vs2.1B (Reichert, 1994, Omlin *et al.*, 2001). Nesta primeira fase do trabalho, concedeu-se uma atenção especial ao elemento fósforo, o nutriente limitante do processo de eutrofização nas massas hídricas referenciadas. O modelo, bidimensional e de estrutura matricial seguindo a notação dos modelos da IWA, contempla os processos de conversão que ocorrem na coluna de água e os processos de mineralização nos sedimentos. Integra, como factores diferenciadores, uma estequiometria variável para a produção primária em relação ao fósforo e inclui o processo de adsorção de fosfato por partículas orgânicas sedimentáveis (Gächter & Mares, 1985). Os dados experimentais sobre a qualidade da massa hídrica, para

proceder à validação e calibração do modelo, foram cedidos pela Direcção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos, tendo sido obtidos através do plano de monitorização executado pelo Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Universidade Nova de Lisboa, no período de 2001 a 2003.

Foram efectuadas análises à camada superficial dos sedimentos de ambas as lagoas (30 cm), para determinação do pH, potencial redox, conteúdo em matéria seca (MS), concentração de fósforo total, ferro e alumínio. Os métodos analíticos utilizados encontram-se descritos em APHA (1998).

Resultados

A composição dos sedimentos de ambas as lagoas é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição dos sedimentos da Lagoa das Furnas e da Lagoa Verde das Sete Cidades

Parâmetro	Lagoa das Furnas	Lagoa Verde das Sete Cidades
pH	6.1	5.9
Potencial redox (mV)	- 160	- 111
Matéria Seca (%)	20	21
Fósforo total na superfície dos sedimentos (mg/kg)	873	829
Alumínio (g/kg)	24	29
Ferro (g/kg)	18	167

As figuras seguintes apresentam os valores de temperatura e as concentrações de fosfato e oxigénio dissolvido, experimentais e simulados ao longo da coluna de água, para a Lagoa das Furnas (Figuras 1, 2 e 3) e para a Lagoa Verde das Sete Cidades (Figuras 4, 5 e 6), no ano de 2003.

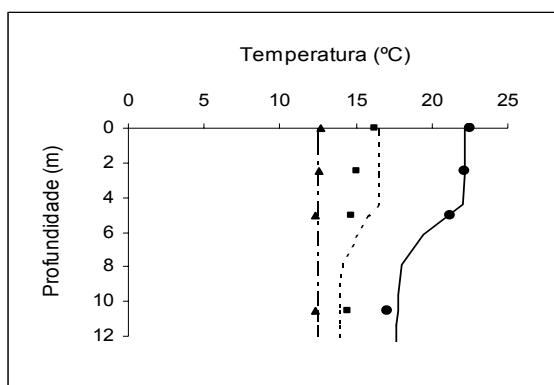


Figura 1 – Perfis de temperatura, experimentais (pontos) e simulados (linhas), para a Lagoa das Furnas, nos meses de Fevereiro (▲), Maio (■) e Julho (●) do ano de 2003.

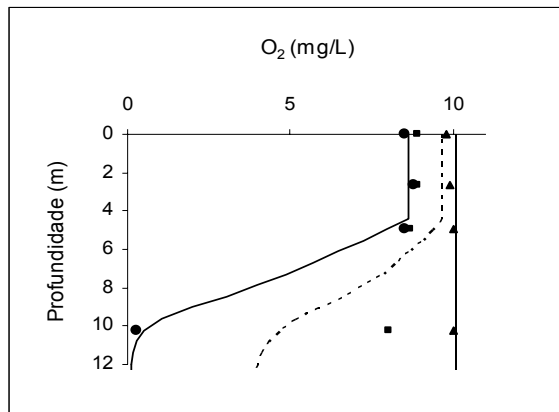


Figura 2 – Perfis de concentração de oxigênio dissolvido, experimentais (pontos) e simulados (linhas), para a Lagoa das Furnas, nos meses de Fevereiro (▲), Maio (▪) e Julho (●) do ano de 2003.

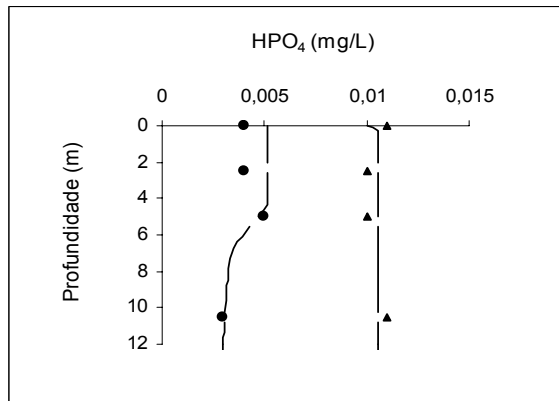


Figura 3 – Perfis de concentração de fosfato, experimentais (pontos) e simulados (linhas), para a Lagoa das Furnas, nos meses de Fevereiro (▲) e Julho (●) do ano de 2003.

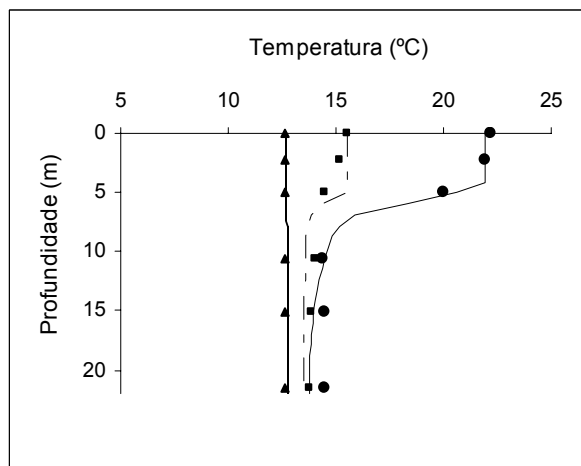


Figura 4 – Perfis de temperatura experimentais (pontos) e simulados (linhas), para a Lagoa das Sete Cidades (Verde), nos meses de Fevereiro (▲), Maio (▪) e Julho (●) do ano de 2003.

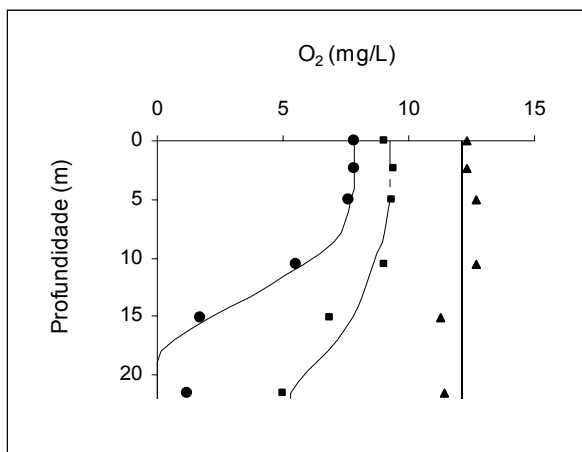


Figura 5 – Perfis de concentração de oxigénio dissolvido, experimentais (pontos) e simulados (linhas), para a Lagoa Verde das Sete Cidades, nos meses de Fevereiro (▲), Maio (■) e Julho (●) do ano de 2003.

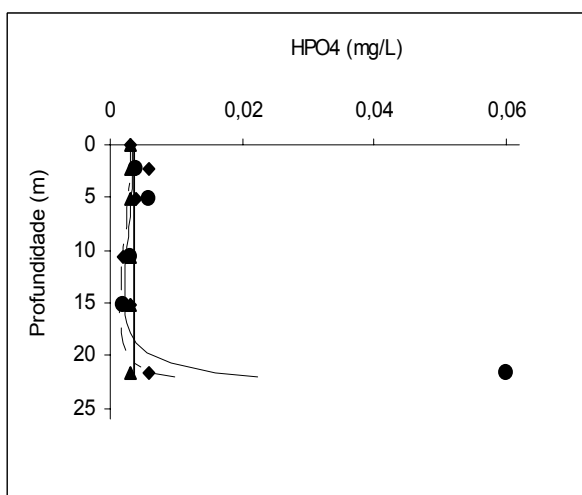


Figura 6 – Perfis de concentração de fosfato, experimentais (pontos) e simulados (linhas), para a Lagoa Verde das Sete Cidades, nos meses de Fevereiro (▲), Maio (■) e Julho (●) do ano de 2003.

Discussão

Os resultados apresentados nas Figuras 1 a 6 demonstram a validade do modelação face aos dados experimentais recolhidos. Com efeito, as variações registadas nos meses de Verão, em termos de temperatura e concentrações de fosfato e oxigénio dissolvido, são consistentes com as condições de estratificação das massas hídricas nesse período. Por outro lado, o efeito de mistura típico dos meses de Inverno, traduzido por valores praticamente invariáveis ao longo da coluna de água, também é reproduzido. É de notar que os perfis de temperatura e de concentração de oxigénio dissolvido são semelhantes em ambas as lagoas. No entanto, relativamente aos perfis de concentração de fosfatos (Figuras 3 e 6), em particular nos meses de Verão, nesse ano, os resultados obtidos foram diferentes, estimando-se que, no caso da Lagoa das Furnas, cerca de 90% do fósforo resultante da mineralização das algas nos sedimentos fica retido sob a forma de complexos metálicos, o mesmo não ocorrendo na Lagoa Verde das Sete Cidades. Esta diferença nos perfis de concentração de fosfato, nos meses de Verão, em ambas as lagoas foi, igualmente, constatada em anos anteriores. Este fenómeno sugere uma contribuição

específica dos sedimentos na eutrofização lagunar por via de fases cíclicas de adsorção/desorção de fósforo. De facto, os sedimentos actuam como depósito de fósforo mas, perante alterações nas condições ambientais, pode verificar-se uma re-solubilização deste composto que, assim, constitui uma fonte assimilável pelos organismos fitoplanctónicos.

A análise físico-química dos sedimentos da Lagoa das Furnas e da Lagoa Verde das Sete Cidades (Tabela 1) revelou um pH próximo da neutralidade, embora ligeiramente ácido (pH 6), potenciais redox (-111 e -160 mV) indicativos de condições anaeróbias nos sedimentos e um conteúdo em matéria orgânica de, apenas, 20 % MS, características associadas a um elevado grau de mineralização. Além disso, os resultados revelaram, na Lagoa das Furnas, uma concentração de fósforo total na superfície dos sedimentos de 873 mgP/kg, assim como elevadas concentrações de alumínio e ferro de 24 gAl/kg e 18 gFe/kg, respectivamente. Por outro lado, no caso da Lagoa Verde das Sete Cidades, apesar da concentração de fósforo total na superfície dos sedimentos, 829 mgP/kg, ser semelhante à verificada na Lagoa das Furnas, a concentração de metais detectada foi substancialmente superior, especialmente no caso do ferro, sendo os valores encontrados de 29 gAl/kg e 167 gFe/kg. Tanto na Lagoa das Furnas como na Lagoa Verde das Sete Cidades, os resultados obtidos indiciam a disponibilidade do alumínio e do ferro para ligação aos fosfatos.

Na Lagoa das Furnas, a concentração de alumínio nos sedimentos é superior à concentração de ferro (Tabela 1), sugerindo que a maior parte dos fosfatos presentes nos sedimentos se encontram ligados ao alumínio. Por outro lado, nos sedimentos da Lagoa Verde das Sete Cidades, a maior parte dos compostos metálicos corresponde a compostos de ferro, encontrando-se, portanto, os fosfatos, maioritariamente ligados ao ferro. Em condições anaeróbias, os compostos de alumínio encontram-se, geralmente, estáveis, enquanto que, pelo contrário, uma elevada fracção dos compostos de ferro se encontra solúvel. Assim sendo, a re-dissolução dos fosfatos acumulados nos sedimentos, observada na Lagoa Verde das Sete Cidades nos meses de Maio e Julho de 2003 (Figura 2), está, muito provavelmente, associada à solubilização dos compostos de ferro, quando se atingem condições anaeróbias nas camadas mais profundas da Lagoa. De facto, na presença de oxigénio, o Fe^{2+} solúvel é oxidado a Fe^{3+} , o qual é hidrolisado formando hidróxido férrico, composto insolúvel que precipita a valores de pH próximos da neutralidade. Após a depleção do oxigénio, devido à estratificação e à mineralização aeróbia, pode desenvolver-se um processo de degradação anaeróbia da matéria orgânica. Nesta situação, pode ocorrer, durante a fase acidogénica, uma diminuição do pH do meio o qual, aliado às condições redutoras, conduz à re-dissolução dos hidróxidos de ferro e, consequentemente, à libertação de HPO_4 para a coluna de água.

Com efeito, o fosfato é acumulado na camada de sedimentos sob a forma de complexos de ferro e, no Verão, devido à desoxigenação das camadas mais profundas da lagoa podem verificar-se condições de anaerobiose, ocorrendo a dissolução destes compostos, com a consequente libertação de HPO_4 para a massa hídrica. No caso da Lagoa das Furnas, não se verifica a ocorrência deste fenómeno, pois a maior parte dos complexos metálicos são compostos de alumínio, que, como referido anteriormente, se encontram estáveis mesmo em condições anaeróbias mentendo, assim, o fosfato adsorvido na camada de sedimentos.

Conclusão

Os resultados obtidos no presente estudo demonstraram a validade do modelo de qualidade da água da Lagoa das Furnas e da Lagoa Verde das Sete Cidades, desenvolvido no suporte AQUASIM. A simulação efectuada sugere, ainda, que os processos geoquímicos que ocorrem nas camadas de sedimentos podem assumir um papel muito significativo no fluxo de fósforo para a massa hídrica. Este facto pode potenciar a ocorrência de fenómenos extremos de

“blooms” algais, sem prejuízo dos restantes factores de índole ecológica que podem contribuir para desencadear este tipo de disfunção lagunar.

Agradecimentos

Os autores agradecem as sugestões prestadas pelo Prof. Fernando Santana e pela Prof. Conceição Santos, assim como o contributo da Fundação para a Ciência e a Tecnologia a Ana Cristina Rodrigues (financiamento SFRH/BPD/9465/2002).

Referências

- APHA, WPCF. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington DC, USA.
- Gächter, R. & Mares, T. (1985). Does settling seston release soluble phosphorus in the hypolimnion of lakes? *Limnology Oceanography*, **30**, 364-371.
- Omlin, M., Reichert, P. & Forster, R. (2001). Biogeochemical model of Lake Zürich: model equations and results. *Ecological modelling*, **141**, 77-103.
- Reichert, P. (1994). AQUASIM – A tool for simulation and data analysis of aquatic systems. *Water Science and Technology*, **30** (2), 21-30.
- Direcção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos (2003). Relatório de Progresso do Programa Operacional de Requalificação Lagunar. *In: I Conselho Regional da Água*, Ponta Delgada.
- UNL (2000-2003). *Relatórios de Progresso*. DROTRH/SRA.